

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-095628

(43)Date of publication of application : 14.04.1998

(51)Int.Cl.

C03B 37/012

C03B 37/028

G02B 6/00

G02B 6/10

(21)Application number : 09-134962

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 26.05.1997

(72)Inventor : DIGIOVANNI DAVID JOHN
VENGSAKAR ASHISH MADHUKAR
WAGENER JEFFERSON LYNN
WINDELER ROBERT SCOTT

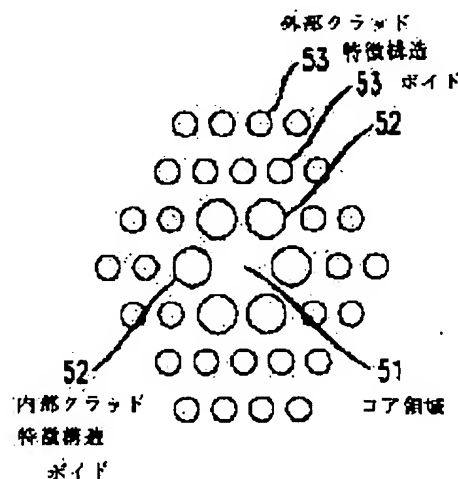
(30)Priority

Priority number : 96 18716
97 799311Priority date : 31.05.1996
14.02.1997Priority country : US
US

(54) OPTICAL FIBER-CONTAINING PRODUCT HAVING FINE STRUCTURE AND PRODUCTION OF OPTICAL FIBER HAVING FINE STRUCTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a new aperiodic optical fiber having microstructure.

SOLUTION: When the difference Δ of effective refractive index between a core region and clad region is e.g. a high difference of $\geq 5\%$, mode field diameter of a basic mode of $< 2.5\mu\text{m}$ becomes usually small and radiation light in core region becomes highly strong. In this fiber having fine structure, the solid core region 51 is enclosed by an internal clad region and further, the internal clad region is enclosed by the outer clad region and these clad regions have capillary voids 52 and 53 which extend in the fiber shaft direction and the voids 53 of external clad region have diameter smaller than that of voids 52 in the internal clad region and have effective refractive index larger than that of the internal clad region.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.04.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3306847

[Date of registration] 17.05.2002

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-95628

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月14日

(51) Int.Cl.*	識別記号	F I	
C 0 3 B 37/012		C 0 3 B 37/012	B
37/028		37/028	
G 0 2 B 6/00	3 5 6	G 0 2 B 6/00	3 5 6 A
6/10		6/10	A

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願平9-134962	(71) 出願人	596077259 ルーセント テクノロジーズ インコーポ レイテッド Lucent Technologies Inc. アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー 600-700
(22) 出願日	平成9年(1997) 5月26日	(72) 発明者	デヴィッド ジョン デイジョヴァンニ アメリカ合衆国, 07042 ニュージャージ ー、モントクレア、モントクレア アヴェ ニュー 126
(31) 優先権主張番号	0 1 8 7 1 6	(74) 代理人	弁理士 三俣 弘文
(32) 優先日	1996年5月31日		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		
(31) 優先権主張番号	7 9 9 3 1 1		
(32) 優先日	1997年2月14日		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

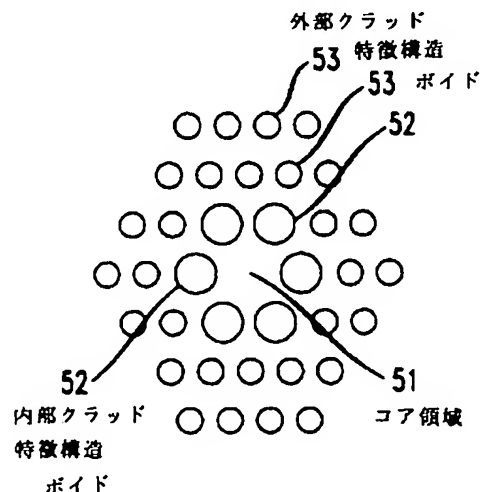
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細構造光ファイバ含有製品と微細構造光ファイバ製造法

(57) 【要約】

【課題】 新規非周期性微細構造光ファイバを提供する。

【手段】 コア領域とクラッド領域間の実効屈折率差 Δ が例えば、5%以上の高 Δ にすると通常 $< 2.5 \mu\text{m}$ の基本モードのモードフィールド径が小さくコア領域の放射光が高強度になり、本微細構造ファイバ例を挙げると、その固体コア領域51は内部クラッド領域により囲まれさらにこの内部クラッド領域は外部クラッド領域により囲まれ、これらクラッド領域はそのファイバ軸方向に伸びる毛管ボイド52、53を有し外部クラッド領域のボイド53は内部クラッド領域のボイド52より直径が小さく実効屈折率が大い特徴構造を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 軸方向と該軸方向に垂直な断面を有する微細構造光ファイバは、クラッド領域により囲まれたコア領域(51)を有し、該クラッド領域は間隔をおいて配置された複数のクラッド特徴構造(52)を有し、該クラッド特徴構造は前記軸方向に長く伸び第1のクラッド材料中に配置されたクラッド特徴構造であり、前記コア領域は実効屈折率 N_0 を有し、前記クラッド特徴構造は前記第1のクラッド材料の屈折率と異なる屈折率を有し、および前記クラッド領域は N_0 より小さい実効屈折率を有する微細構造光ファイバを含有する微細構造光ファイバ含有製品において、

前記クラッド特徴構造は非周期性のクラッド特徴構造であることを特徴とする微細構造光ファイバ含有製品。

【請求項2】 前記コア領域と前記第1のクラッド材料はシリカであり、さらに前記クラッド特徴構造はボイドであることを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項3】 前記コア領域は稀土類元素を有することを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項4】 前記コア領域は光感応性材料からなることを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項5】 前記コア領域は3次非線形性が増加したファイバを与えるよう選択した材料からなることを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項6】 N_0 および前記クラッド領域の屈折率は、前記微細構造光ファイバが、所定の波長 λ および基本導波モードにおいて、 $-300\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ より大きい負の分散を有するよう選択することを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項7】 前記クラッド領域は、実効屈折率 N_{cl} を有する内部クラッド領域(52)と実効屈折率 N_{co} を有する外部クラッド領域(53)、ただし $N_{cl} < N_{co}$ 、を含むことを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項8】 前記クラッド特徴構造は、前記微細構造光ファイバの前記断面に実質的にランダムに分布することを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項9】 さらに、光信号送信器(31)、光信号受信器(37)、および前記送受信器を信号が伝送できるよう結合する光ファイバ伝送路を有し、ただし該光ファイバ伝送路は第1の長さの前記微細構造光ファイバ(35)を含む光ファイバ伝送路(33、35、36)であることを特徴とする請求項1に記載の製品。

【請求項10】 A) コア要素を複数の毛管で囲むよう該複数の毛管と該コア要素を管束バンドルにしてコア要素と複数の毛管を提供するステップと、

B) 前記管束バンドル周りにあるクラッド管をコラプスするステップを有するプロセスによりプリフォームを形成するステップと、

C) 前記プリフォームの加熱末端から光ファイバを線引きするステップとを有する微細構造光ファイバを製造す

る方法において、

さらに、ステップC)の前に、前記毛管の第1の端部を封止するステップで、該封止する第1の端部が該プリフォームの加熱末端から遠く離れた遠隔端部となるよう該プリフォームの前記毛管を配置して前記毛管の第1の端部を封止するステップを有することを特徴とする微細構造光ファイバ製造法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、“微細構造”光ファイバに係り、特に、このような微細構造光ファイバを含む製品およびシステム(ここでは総称して“製品”と呼ぶ)ならびにこの微細構造光ファイバの製造法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムには通常多種多様なファイバとファイバ系コンポーネントを有し、例えば、低損失伝送路ファイバ、Erdőp光ファイバの増幅器ファイバ、分散補償ファイバおよびインライン屈折率グレーティングを有するファイバが挙げられる。これらファイバではすべて、屈折率の比較的低い固体クラッドにより囲まれた屈折率の比較的高い固体コアの存在に基づく全内部反射によって導波が実現される。

【0003】最近、例えば、次の文献のような、新しい種類の光ファイバが提案された。すなわち、T.A.Birksら、Electronic Letters、Vol.31(22)、p.1941(October 1995)、およびJ.C.Knightら、Proceedings of OFC、PD 3-1(February 1996)が挙げられこれらを参照のこと。この新しい光ファイバは、“光子結晶”または“光子バンドギャップ(PBG)ファイバ”と呼ばれ、次の誘電体構造を有する。すなわち、これは、屈折率が空間で周期的に変動する、つまり、光波長のオーダー(例えば、約1ないし2 μm)の周期で、空間的(そのx-y平面で、ただし、z座標つまりその構造体の縦座標には依存せず無関係)に変動する、誘電体構造を有する。前記引用文献の著者らによると、このような構造体では、ブラッグ回折が生じ、この構造体がある値の波長と伝搬方向で光子ストップバンドを示すことが可能となる。

【0004】このブラッグ回折の結果、ある波長の放射光のみがその縦方向に伝搬でき、本質的に横方向に漏洩することがない。したがって、この構造体は、通常的光ファイバの屈折率導波型の場合と基本的に異なる機構で導波を実現する導波構造体である。PBGファイバは、ここで取上げる“微細構造”ファイバの一例である。前記Birksらの文献の記載では、PBGファイバの利用は、“このファイバの独特の性質から生まれる”ものであり、仕上げをしたPBGファイバは、水質汚染感応性、つまりバイオセンサ、または臭ガスセンサへの利用が可能であり、さらにはこの構造体の分極性から他の利用が生ずることもまた可能である。このBirksらの文献

では、“…複数の積層と線引のプロセスにより”PBGファイバを製造するための研究は進行中であることを明らかにしている。

【0005】このKnightらの文献では、“巨視的スケールで六角形シリカ/空気プリフォーム（導波するための意図的欠陥を含め）を生成し次に光ファイバにそのサイズを数桁小さく線引きして”PBGファイバを形成する。“この光子結晶の単位格子は、シリカのロッドの中心部にドリルで穿孔しその外面上に6個の平面をフライス削りして六角形断面を形成する。中心“欠陥”は、縦軸方向の口径を有するロッドの代りに固体六角形ロッドを置換し用いて導入する。この複合構造体の複数の線引きにより、例えば、外平面間の直径が3.4μmで、空気穴間のピッチが2.1μmの、六角形断面のPBGファイバが得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】この従来のPBGファイバの製造法は難しくコストもかかり、微細構造ファイバをもっと簡単に低コストで製造できる製造法が所望されている。本出願はこのような製造法を開示するものであり、さらには、本出願は、この新規製造法により製造可能な新規ファイバ（“非周期性微細構造”ファイバと呼ぶことができ）ならびにその光ファイバ通信システムおよび微細構造ファイバを含有する他の製品を開示するものである。以下に課題を解決するための手段の説明の前にまず本出願の説明のための用語と定義を説明する。

【0007】用語と定義

本出願において本発明者らは、“屈折率”と“実効屈折率”を次のように区別する。ある材料（ボイドも含め）からなる特徴構造の屈折率はこの材料の通常の屈折率である。これに対し、ファイバの（例えば、クラッド領域の）特徴構造の“実効屈折率”は、このファイバのシミュレーションにおいて、その実際のファイバと等しい光学的性質を与える特徴構造の屈折率値である。もしこの特徴構造が実質的に均一（例えば、コア領域）である場合、この特徴構造の実効屈折率はこの特徴構造の屈折率と実質的に同じである。しかし、もしこの特徴構造が不均一（例えば、マトリックス中に配置されたボイドを有するクラッド領域）である場合、この特徴構造の実効屈折率はそのボイドの屈折率ともまたそのマトリックスの屈折率とも異なる。

【0008】近似的に言って、不均一材料の実効屈折率は、この材料の構成要素の屈折率の重畳平均と考えることができる。2成分系材料の実効屈折率Nは、次の条件を満たすことが知られている。

$$(n_1 n_2) / (f_1 n_2^2 + f_2 n_1^2)^{1/2} \leq N \leq (f_1 n_1^2 + f_2 n_2^2)^{1/2}$$

ただし式中、 n_1 と n_2 はこの2成分の屈折率を表し、さらに f_1 と f_2 はそのそれぞれの容積分率を表す。例えば、50容積分率の空気と50容積分率

のシリカからなる材料の場合、これは、 $1.164 \leq N \leq 1.245$ 、となる。実効屈折率の正確な値は、例えば、マクスウェルの式のベクトル解を用いて、微細構造光ファイバの導波性の数値シミュレーションにより得ることができる。このような計算は次例のようにこの分野の当業者には知られている。

【0009】例えば、J.D.Joannopoulosら、“Photonic Crystals”、Princeton University Press、1995、が挙げられる。例えば、前記50/50の空気/シリカの材料例の場合、本発明者らのシミュレーションでは、実施例2に示すように、 $N \sim 1.20$ であった。ここでファイバ領域の“有効直径”の用語は通常の意味を有する。例えば、ある実効屈折率 N_0 のコアおよびある実効屈折率 N_c のクラッドを有するファイバの場合、ある波長 λ における有効コア直径は、その実際のファイバと同じVナンバを与えるステップインデックス屈折率分布のそのコア直径である。クラッド特徴構造は、もしこのクラッド特徴構造の少くとも1個が周期性アレイの位置にはないか、または他のクラッド特徴構造とある性質（例えば、直径）が異なる場合、その第1のクラッド材料に“非周期的”に配置されていることを指す。微細構造ファイバの“ Δ ”は、 $(N_0 - N_c) / N_c$ 、ただし式中、 N_0 と N_c は前記の定義の通り、である。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、微細構造ファイバが従来この技術分野で明らかにされた完全周期性“クラッド”微細構造を有する必要がないことを発見した。実際今まで、本発明者らは、微細構造光ファイバにおいて光子バンドギャップの存在を検証することができなかった。ところが、本発明者らは、微細構造光ファイバが光導波路としての役目をし、従来の光ファイバでは得ることができなかった性質を有することが、このファイバがある簡単な条件を満たす場合に、可能であることを発見した。これらの性質の中には、コアとクラッド間の実効屈折率差をドーピングにより得られる屈折率差よりもっと大きくできるものが挙げられる。このような微細構造光ファイバは、光ファイバ通信システムにおいて、例えば、分散補償ファイバ、光感応性ファイバ、また希土類ドープ光ファイバ、として、好都合に使用することが可能である。

【0011】本発明は、次のような微細構造光ファイバを含有する製品（例えば、光ファイバ通信システム）において実現される。すなわち、本微細構造光ファイバは、クラッド領域により囲まれた（通常固体）コア領域を有し、該クラッド領域は間隔をおいて配置された複数のクラッド特徴構造を有し、該クラッド特徴構造はそのファイバ軸方向に長く伸び第1のクラッド材料中に配置されたクラッド特徴構造であり、該コア領域は有効直径 d 、および実効屈折率 N_c を有し、該クラッド特徴構造は前記第1のクラッド材料の屈折率と異なる屈折率を有

し、おいび前記クラッド領域はN。より小さい実効屈折率を有する微細構造光ファイバである。本微細構造光ファイバにおいて、特に重要なことは、前記クラッド特徴構造が前記第1のクラッド材料中に非周期性に配置されていることである。

【0012】本発明の微細構造光ファイバは、単一モードファイバまたは多モード（通常は若干数のみのモード）ファイバとすることが可能である。このコア領域は通常固体で、均一かまたは組合わせ材料（例えば、内部Siコア領域と外部SiO₂コア領域）かのいずれかであるが、液体であることも可能である。例えば、このコア領域にガラス毛管を有し、ファイバ線引き後にこの毛管に液体を引き入れる例である。現在好ましい実施の形態では、例えば、このコア領域は（ドープしたまたはドープしなかった）シリカ、その第1のクラッド材料はシリカ、およびそのクラッド特徴構造はボイドである例が挙げられる。しかし、このコア領域はその第1のクラッド領域と同じ組成である必要はなく、および／またはそのクラッド特徴構造がボイドである必要もない。

【0013】例えば、このコアはシリコン内部コアとし（このコアに高い実効屈折率を与え）またはそのクラッド特徴構造が、所定の屈折率を有するポリマー、液晶材料またはFドープシリカとすることも可能である。この技術分野の当業者であれば認められることであるが、このクラッド特徴構造の厳密な周期性は従来必要としたが、この厳密な周期性が不要となると、微細構造ファイバを容易に製造できるようになり（さらにこのようなファイバの新規製造法も可能となる）。この必要条件が不要になるというのは、本発明者らの、ブラッグ回折は微細構造ファイバにおける光導波に必要な条件ではなく、さらにはこのようなファイバは有効な屈折率導波型とすることができる、という認識に基づくものである。

【0014】例を挙げて説明すると、本発明の現在好ましい微細構造ファイバは、内部クラッド領域と外部クラッド領域を有し、この内部クラッド領域のクラッド特徴構造はボイドで外部クラッド領域のボイドより直径が大きいものである。ここでこの内部クラッド領域は、その外部クラッド領域の実効屈折率 N_{cl} より小さい実効屈折率 N_{ci} を有する。均一なシリカ外部クラッドは強さの理由から通常設けられる。このファイバは、所定の波長 λ （例えば、 $1.55\mu\text{m}$ ）と基本導波モードで、大きい分散（例えば、 $-300\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$ より負の大きい分散）を与えることができ、そこで分散補償に好都合に使用することができる。さらには、このファイバは分散スロープが大きく、このファイバはかなりの波長範囲、例えば、 20nm 以上で、分散補償を与えることができる。

【0015】また、このファイバは、例えば、 $2.5\mu\text{m}$ より小さい波長と基本モードで、小さいモードフィールド径を有することができる。そのコア領域に光感応性

材料を有する本発明のファイバは、光ファイバグレーティングに好都合に使用することができ、さらにはそのコア領域に1種以上の稀土類（例えば、Er）を含むファイバは、ファイバ増幅器および／またはレーザに好都合に使用することができる。これら用途はすべて本発明の微細構造ファイバで大きい Δ が達成できこれから得ることができるものである。本発明はまた微細構造光ファイバの製造法を提供し実現する。本方法には、コア要素（例えば、シリカロッド）と複数の毛管（例えば、シリカ管）を提供するステップがある。

【0016】この毛管は、通常そのコア要素を管束バンドルの中心にした管束バンドルとして配列される。この管束バンドルは1個以上のオーバクラッド管により一緒に保持され、このオーバクラッド管はその管束バンドルにコラプスされる。次にこのように調製されたプリフォームからそのファイバを線引きする。重要なことは、この管束バンドルを組立てる前または後に、この管束バンドルの一端を封止し、この管束バンドル（プリフォーム）の他端からそのファイバの線引きを行うことである。この毛管のボイドにおいて得られる内圧がこの毛管のボイドを開いたままにする役目をする。他方でこの毛管間のボイドは開いたままであり、線引きの際に容易にコラプスする。以上述べた方法は、周期性または非周期性のクラッド特徴構造の場合に実施することができる方法であるが、後者の場合、そのクラッド特徴構造はサイズも変動し不規則に配置することができるが、これは得られたファイバの実効屈折率分布がこのファイバが所望導波モードをサポートするような分布の場合のみ可能となる。

【0017】

【発明の実施の形態】この技術分野の当業者であれば認められることであるが、ここで注目する微細構造ファイバは、このファイバの縦（z）座標に垂直な平面のx-y平面では大きさが有限（例えば、約 $125\mu\text{m}$ の直径）であり、また縦長さ方向では長さが実質的に無限（例えば、メートルまたはキロメートルの程度）である。Birksらにより提唱されたように、PBGファイバは中心構造特徴を有し（ただしこれは“欠陥”と呼ばれるが、ここで強調する必要があることは、この用語はある点で他の均質なアレイの要素とは異なる要素が存在することを示すのに用いられ、不良箇所や意図せぬ特徴構造を指すものではなく）、これはクラッド特徴構造の周期性アレイにより囲まれる中心構造特徴である。ここで本発明者らはこの欠陥を“コア領域”として言及する。

【0018】このコア領域は、実際一般的には中心に配置されるが、そのファイバ構造の中心にある必要はない。PBGファイバのコア領域はこの構造の対称性を破るものである。それは、例えば、サイズの点で、または屈折率の点で、のように広く種々の点のいずれでもそのクラッド特徴構造と異なることが可能なものである。後

者の屈折率は、例えば、1（空気）から1.45（シリカ）ないし、さらには種々のガラスまたはガラスではない、例えば、半導体のような材料に付随するもっと大きな値まで、広く変り得る。実際基本的にコア領域の選択に加える唯一の限定はそのファイバの製造プロセスとの適合性である。PBGファイバのクラッド特徴構造も同じようにボイドまたはマトリックス（第1の材料）中に配置された何らかの適当な（第2の）材料とすることができ。

【0019】これらの特徴構造は、周期性アレイを形成するよう配置されるが、このアレイのサイトの中の1個のサイトが前記コア領域により占拠されるように周期性アレイを形成するよう配置される。例えば、図1に模式的に示すように、このアレイは、3角形対称図形に配置された複数のある直径の長いボイドで形成され、ここで符号番号10はPBGファイバ例の断面を、符号番号11はそのコア領域を、符号番号12はそのクラッド特徴構造アレイを、および符号番号13はこのアレイの“単位格子”例をそれぞれ示す。このアレイは必ずしも対称3角形の単位格子を持つとは限らない。可能な他のアレイの中には、4角形単位格子のアレイや、6角形単位格子のアレイも挙げられ、この後者は図2に模式図的に示し、ここ符号番号23は6角形単位格子例を示す。

【0020】本発明者らは、前記引用文献により要求された厳しい要求条件はかなり緩和できることを発見した。特に、本発明者らは、このファイバのx-y面（断面）における周期性は必要がないことを発見した。その代りこのファイバは、コア領域がこのコア領域を囲むクラッド領域の実効屈折率より十分高い実効屈折率を有することが必要であり、さらには複数の、例えば、毛管ボイドのような微細構造のクラッド特徴構造を有することが必要であり、ただしこのクラッド特徴構造は必ずしも周期性アレイを形成する必要はない。実際このクラッド特徴構造は、そのファイバが適当な実効屈折率分布を有する限り、さらにはランダムに分布したりサイズや他の適当な性質が変動したりすることも可能である。これが当然明らかなことであるが従来のPBGファイバとの重要な違いである。

【0021】図5に非周期性微細構造光ファイバの適当な部分を模式的に図示する。この構造には、固体コア領域51があり、これは内部クラッド領域に囲まれており、この内部クラッド領域には第1のクラッド特徴構造52があり、これは基本的には6角形に配置されており、この内部クラッド領域は外部クラッド領域により囲まれており、この外部クラッド領域には第2のクラッド特徴構造53がある、ただしその全部は図示していない。例えば、このクラッド特徴構造はボイドであり、この構造の残りはガラス、例えば、シリカである。特定の実施の形態を挙げると、それぞれこの第1のクラッド特徴構造は直径が0.833 μm 、第2のクラッド特徴構造

造は直径が0.688 μm であり、このクラッド特徴構造の中心間の間隔は0.925 μm である。この第1のクラッド特徴構造はコア領域51の内接円が1.017 μm となるように配置される。

【0022】この技術分野の当業者であれば認められることであるが、このコア領域はガラスからできており、これは実効屈折率が実質的にはそのガラスの屈折率に等しい。この内部クラッド領域はその外部クラッド領域よりボイド対ガラスの比率が大きい。したがって、この内部クラッド領域は、その外部クラッド領域より実効屈折率が低い、ただし両クラッド領域はそのコア領域より実効屈折率が低い。図6に前記微細構造ファイバ例の計算分散スペクトルを示し、ただしこのガラスはシリカであり、毛管特徴構造は空気である。破線の曲線62は94kmの市販5D（商標）ファイバの負の分散スペクトルである。図6に見ることができるように、本発明の1kmのファイバは、通常の94kmの単一モードの伝送ファイバの分散を、20nm以上例えば、約50nmのスペクトル範囲で完全に補償する。

【0023】前述のように、図5は本ファイバの第2のクラッド特徴構造のすべてを示してはいない。本発明者らのシミュレーションでは、少なくとも4“層”の第2の毛管特徴構造を与えねばならないことを示している。通常、この微細構造クラッド領域は、機械的な理由から、基本的に光学的に不活性になるようそのコア領域から十分離れた固体ガラスクラッドにより囲まれている。以上説明した非周期性微細構造ファイバは大きい負の分散と負の分散スロープを有するファイバ例である。このようなファイバは分散補償ファイバとして好都合に用いることができる。前述のように、この非周期性は第1と第2のクラッド特徴構造の両者の存在に起因するものであり、さらにはこの第2のクラッド特徴構造もまた非周期的に配置することも可能である。

【0024】一般的にこの微細構造クラッド特徴構造は次のように配置する必要がある。すなわち、このクラッド領域は伝搬放射光モードをサポートするよう第2のコアの役目ををするのに十分にx-y面のマトリックス領域を含有しないよう配置する必要がある。この条件は、その微細構造クラッドがそのコア領域より面積が広い（そのx-y面で）微細構造非含有領域を含まない場合、満たされることが多い。さらに一般的にはこの微細構造クラッド特徴構造は次のように（そのx-y面において）分布されなければならない。すなわち、 $(N_o + N_c) / 2$ より大きい実効屈折率、ただし N_c は適当なクラッド領域の実効屈折率である、を持つそのコア領域以上の寸法（x-y面）を有するクラッド領域が存在しないように分布されなければならない。

【0025】次に特定の現在好ましい実施形態の微細構造ファイバの製造法を説明する。この方法を、適当な小さい変更も含め、用いて前述の非周期性微細構造ファイ

バを製造することができる。シリカ毛管（例えば、外径が0.718mm、内径が0.508mm、長さが12インチ）をその一端で封止し、これを高密度充填の配置に束ね管束バンドルとする。中心の毛管を、内径の異なる（例えば、内径の小さい）シリカ管、または同じ外径のシリカロッド、により置換する。シリカ管をこの、例えば、169本のシリカ毛管の管束バンドル上に置き、これをその高密度充填配置を保持するようにその管束バンドルへコラプスする。ここで得られたプリフォームは通常の線引き炉の高温領域に入れてこの毛管の非封止端を加熱する。

【0026】適当な温度（例えば、摂氏2000度）に達すると、このプリフォームの加熱端からファイバに線引きする。例えば、プリフォーム供給速度例は、0.4ないし3.5mm/分の範囲で、さらに線引き速度例は、0.2ないし0.5m/秒の範囲である。線引きは、例えば、アルゴンのような不活性雰囲気で行われる。最初、このシリカ毛管の未封止端は通常表面張力で閉じるが、各“管”内にある容積の空気で封止する。このプリフォームからファイバに線引きされるにしたがって、この空気に許容可能な容積は減少し、付随して圧力は上昇する。この上昇は、この圧力がその表面張力と毛管力を越えるまで続き、そしてこの封止した管を開かせる。

【0027】一般的にこの封止した管圧は、自己制御であって、所望の直径にこのファイバが線引きされるにしたがってこのシリカの断面積対このシリカの孔の面積が一定になるようにされる。このファイバは通常のように被覆することができる。この毛管の一端は、ファイバを管束バンドルにする前にまたはバンドルにした後に、封止することができる。この封止した管はその封止した空気のため開いたままであるが、この管の間の隙間の空間はなくなる、というのはこの空間はその大気を開いたままであり、そこで圧力はその表面張力を補償するよう上昇しない。このようにして得られた構造は、実質的に図1に示すように、コア領域がありさらにシリカ本体に毛管ボイドの規則的なアレイがある。

【0028】ここで注記点は、微細構造アレイはこの隙間の空間が開じる必要がない場合でも生成されることがある。このような構造もまた導波性を示すことができる。このボイドの中心間の間隔（ピッチ）は、特にその毛管の外径とその延伸比の関数であり、またこの空気対ガラス比は特に毛管の壁の厚さの関数である。このファイバ直径はそのプリフォームの通常のオーバクラディングにより独立して増加することができ、さらにオーバクラディングは、ファイバ強さを増加したり、さらには切断、接続およびファイバ直径に関して標準化された他の操作を容易にするために、望ましい場合が多い。以上述べた方法は異なる対称性のアレイを形成するためにも容易に適用できることはこの技術分野の当業者であれ

ば認められることである。

【0029】例えば、シリカ毛管の代りにシリカ・ロッド（または異なる内径の毛管）を適宜適用し本方法を用いて図2に示す種類の六角形アレイの単位格子を有する微細構造ファイバを製造することができる。もしくは本方法を変形してボイドの代りに固体クラッド特徴構造を有する微細構造ファイバを与えることができる。所望の第2の材料（例えば、Fドープシリカ）をその第1の材料（例えば、シリカ）管の内面にその特徴構造の直径を決める厚さに堆積し、そしてそのプリフォームからファイバを線引き、ただしその管の端部を封止しないで、これによりこの管のコラプスを容易にするが、この点以外実質的に以上述べたようにファイバの線引きを行う。

【0030】さらにまたはこのボイドを融点がこの毛管材料より低い金属またはガラスで充填することも可能である。これは、その金属または第2のガラスを線引き炉からの熱に暴露して溶融させてこのボイドに、場合に応じ減圧にして、流入させ、その一方でこの毛管ガラスは実質的に変形しないよう十分に硬く変らないままとして実現する。ここで適当な金属には、Al、Pb、Au、AgおよびCu、さらには他の例の中には、W.H.Grodki ewicz ら、Mat.Res.Bull.,Vol.10(10),p.1085(1975)に記載のものが挙げられる。適当な、第2のガラスには、好ましくは、その操作温度で比較的低（“溶融”）粘度でなければならず、これに対しその毛管材料はその温度で比較的に硬い材料である。この第2の材料対第1の材料の比（前に挙げた空気対ガラス比と同様に）は特にその第1の材料管の壁の厚さの関数である。

【0031】さらにまた、例えば、非周期性微細構造ファイバは、その材料のガラス/空気比が制御できる場合、多孔質材料（代表的には多孔質ガラス、例えば、シリカゲル）からも製造することができる。多孔質シリカ本体を製造する既知のゾル/ゲル法によりこのような制御が可能である。多孔質ガラス・クラッド領域を有するプレフォームからのファイバ線引きからランダムに分布した細長いボイドが得られることが期待できる。微細構造ファイバの導波性は、通常の屈折率導波型ファイバの場合と同様に、ファイバの幾何的形狀と実効屈折率分布に左右される。通常のファイバの場合と同様に、コンピュータ・シミュレーションを用いて所望の性質や特性を与える特定の構造を決めることができる。

【0032】2次元および3次元光子結晶の光学的性質を求めるためアルゴリズムが提案され用いられている。例えば、J.D.Joannopoulosら、“Photonic Crystals”、Princeton University Press、1995、特にpp.127-129、J.B.Pendry、J.Modern Optics,Vol.41(2),p.209(1994)、K.M.Leung、J.Optical Society of America,Vol.10(2)p.303(1993)、が挙げられる。コンピュータ・シミュレーションには、一般的に、有限要素法によるベクトル・マックスウェル式の解法を含み、注目する領域の

光ベクトル場を与え、したがってその領域の光の伝搬に関する完全な情報を与える。そこで、このファイバの幾何的形狀、ただしアレイの対称性も含む、屈折率差、第2の材料対第1の材料の比（またはボイド／材料比）およびコアの性質を、微細構造ファイバの所望の性質を得よう、設計することができる。

【0033】通常（屈折率導波型）の光ファイバは、普通コアとクラッド間の屈折率差 Δ が最大で数パーセントの僅かな差を有するよう設計され、これは主として、 Δ が約2パーセント以上の場合、シングルモード・ファイバの損失が Δ が増加するとともに著しく増加するためである。ところが、微細構造ファイバにおいては、この屈折率差はもっと大きく、通常少くとも5パーセントの差が可能である。さらには微細構造ファイバは、通常の屈折率導波型ファイバには類似のものが無いようなパラメータ（例えば、対称性、構造サイズ、第2の材料対第1の材料の体積比、コアの性質）を有し、これが微細構造ファイバの設計者に大きい設計の自由度を与え、微細構造ファイバに基づく新規デバイスの可能性を提供する。

【0034】例えば、微細構造ファイバでは大きい範囲の屈折率差が利用可能であるため、微細構造ファイバは比較的大きい（絶対値として）導波分散を有するよう特注製造することが可能である。そこで微細構造ファイバは、分散スロープ補償用を含め、光ファイバ通信システムにおいて分散補償体として好都合に使用することができる。図3に光ファイバ通信システム30例を模式的に示し、ここで送信器31、波長 λ （例えば、1.3または1.55 μm ）の信号波32、光伝送ファイバ33、光結合器34、ある長さの微細構造ファイバ35、さらなる光伝送ファイバ36および受信器37をそれぞれ示す。他の通常の要素（例えば、光増幅器、ポンピング・レーザ、光アイソレータ、ブラッグ・グレーティング、WDMなど）は通常存在するが、ここでは図示しない。

【0035】屈折率導波型分散補償（DC）ファイバは、ある長さの伝送ファイバの分散を補償するよう光ファイバ通信システムで用いられるファイバとして知られている。例えば、DCファイバを用いて1.3 μm の通信波長範囲で最小の分散を有する光ファイバより以上の1.55 μm の伝送を容易にすることができる。この伝送ファイバは、例えば、約17ps/nm・kmの色分散を有し、従来のDCファイバは、例えば、約150ps/nm・kmの色分散を有する。そこで通常の長さ（例えば、120km）の伝送ファイバの分散を補償するためには比較的に長い（例えば、13.6km）従来のDCファイバが通常必要であることが容易に分かる。これに対して、微細構造ファイバは比較的大きい（正または負の、所望に応じ）色分散を有するように設計でき、例えば、比較的に短い（例えば、1.3km）長さの微細構造ファイバで該伝送ファイバの分散を補償することができる。

【0036】本微細構造DCファイバの設計の重要な特徴は、そのコアの選択であって、これはシリカ（屈折率が約1.45）からシリカに比べ高い屈折率を有する材料（例えば、Si）範囲を有することができ、例えば、>10%の大きい実効屈折率差を与えることができる。この設計の詳細については、コンピュータ・シミュレーションにより既知の方法、通常はベクトル・マックスウェル式の解法により、求めることができる。さらに広くは、微細構造ファイバは、高 Δ ファイバとして容易に設計できのみではなく、この高 Δ に加えてまた光感応性ファイバもしくは希土類ドープコアを有するよう設計することができる。高 Δ と光感応性コアを有する微細構造ファイバは非常に重要であり、というのはこのようなファイバは小さい（例えば、2.5 μm 以下）のモード径の導波放射光を与え、そのためこのコアでは高光強度となり、付随してそのファイバでは非線形性が増加する。

【0037】さらに次にはファイバ・ブラッグ飽和性吸収体、すなわち、例えば、モードロックファイバ・レーザに好都合に利用できるデバイスであるが、これを作ることが可能となる。光感応性コアを有する高 Δ 微細構造ファイバの高非線形性によりまたファイバにおける光-光非線形カースイッチングが、ブラッグまたは長周期グレーティングを用いることにより容易となる。このようなファイバは、例えば、Ge、BまたはSnドープコアを有し、このコアの光感応性を増加するため、グレーティング“ライティング”の前に通常既知のH₂および/またはD₂処理が行われる。高 Δ と希土類ドープコアを有する微細構造ファイバは、例えば、図5に示すような構造で、希土類ドープ（例えば、Er）コアロッドを用いて容易に製造することができる。

【0038】このようなファイバは、通常の希土類ドープファイバ以上の大きい利点を提供する。これらの利点の中には、主としてこのコアにおいて高光強度が達成可能であることから必要パワーの低い点が挙げられる。現在の希土類ドープファイバは、 Δ が通常の伝送ファイバのそれより普通大きく、レーザと増幅器の閾値パワーを減少し効率を増加する。通常の希土類ドープファイバの代わりに希土類ドープ高 Δ 微細構造ファイバを用いると閾値パワーが劇的に低下し、例えば、リモートポンピングの増幅器のようなデバイスをさらに現実的かつ低コストにすることができる。そこで希土類ドープ高 Δ （例えば、>5%）非周期性微細構造ファイバを有するリモートポンピングの光ファイバ通信システムは本発明の一例で好ましい製品である。このようなシステムでは、この励起放射光源はそのファイバ増幅器より200m以上（何kmという場合も多く）が普通である。

【0039】光ファイバの利用の際に非線形性の大きい光ファイバが利用可能であれば望ましいことであり、この非線形性は普通 $\chi^{(2)}$ および $\chi^{(3)}$ で表したその感受率の2次および3次の係数値により通常示される。微細

構造ファイバは大きい 3 次非線形性を有するよう容易に設計できる。ほとんどの導波光パワーはそのコア領域にあるので、このファイバ非線形性の量と質はそのコア領域の材料とサイズにより主として決められる。例えば、もしこのコア領域が大きい非線形性を有する場合、そのファイバも大きい非線形性を示し、例えば、パラメトリック増幅用に有用である。これは、例えば、Pbドープシリカのような大きい非線形性を有する多成分ガラスからなるコア領域を与えることにより実現することができる。

【0040】しかし、前述のように、高Δ微細構造ファイバは、たとえそのコア領域がドープされていないかまたはこの非線形性を大きく増加しないドーパントでドープされているとしても、大きい非線形性を示すことが可能である。これはこのファイバの高Δの結果である小さいモードフィールドのためである。光ファイバ通信システムにおける微細構造ファイバの利用は以上に説明した利用例に限るものではなく、微細構造ファイバがもっとよく知られ理解されるにつれて他の利用も見出だされることに疑問の余地はない。さらに微細構造ファイバは、

図 1、2 または 5 に模式的に示した種類のクラッド特徴構造のアレイを有するファイバに限るものではない。図 4 に前述の例と異なりそれに代る円対称を有する微細構造ファイバ 40 を示す。

【0041】図 4 では、このコア特徴構造 41 は、多層 42₁、42₂、ないし 42_n、(例えば、10 層以上、20 層の場合さえある) クラッドにより囲まれかつ比較的高屈折率と低屈折率が交互になっている例である。これら屈折率と層の厚さはこの構造が所望の実効屈折率分布を有するように選択される。例えば、この層の厚さは、内部クラッド領域は比較的低屈折率を有し、この内部クラッド領域を囲む外部クラッド領域はそのコア領域の屈折率と内部クラッド領域の屈折率の間の実効屈折率の値を有する。このような微細構造ファイバは、例えば、プリフォームからの線引きで製造できるが、ここで前記多層クラッドは、例えば、MCVD のような通常の堆積法により、またはこのコア特徴構造の周りの複数のガラス管をコラプスすることにより形成することができる。場合に応じオプションであるが外部クラッド 43 も通常のものとすることができる。

【0042】実施例 1

微細構造ファイバは次のように製造した。多数(例えば、169 本)のシリカ毛管(外径 0.718 mm、内径 0.508 mm および長さ 12 インチ)を用意しこれを密充填管束バンドルに束ねた。この管束バンドルの中心の管を外径 0.718 mm の固体シリカロッドで置換した。この管束バンドルの各毛管の一端(これを“第 1”の端部、他端を“第 2”の端部と呼ぶ)を封止し、ただしこの密充填管束バンドルの隙間の空間は封止しない。この管束バンドルの直径より僅かに大きい内径のシ

リカ管をそれぞれこの管束バンドルの第 1 と第 2 の端部の上を滑込ませ、この組合わせを通常のガラス細工旋盤に取付けた。この管の一端を、減圧を使って、その管束バンドルの第 1 の端部へコラプスした。続いて他の管の他端をこの管束バンドルの第 2 の端部へコラプスし、そしてこの管束バンドルが所望の配置のままになるようこの管を引き取り去った。

【0043】この管束バンドルの第 1 の端部の近くの残りのシリカ管を通り通常のような孔を作った後、薄い(例えば、壁の厚さが 1 mm)シリカのオーバクラディング管をその孔を通りその集合体の上を滑込ませ、これを、その孔を通り減圧を引くことができるよう、この管束バンドルへその第 1 の端部でコラプスし次に第 2 の端部でコラプスした。引続いて、この旋盤の火炎を第 2 の端部から第 1 の端部へこのオーバクラディング管がその管束バンドルの周りにコラプスするよう横に移動させた。このオーバクラディング・ステップを、場合によりシリカ管を所望のアレイ・ピッチおよびファイバ直径を与えるよう選択して、繰返した。例えば、標準的な(19 x 25 mm 直径)シリカ管を用いた。

【0044】以上のように製造したプリフォームをその旋盤から取出して、第 2 の端部を下にして、線引きタワーに取付け、通常の方法でこのプリフォームからファイバを線引きした。こうして得られたファイバは、外径が 125 μm、ガラス対空気比が 1:1、アレイピッチが 2 μm、クラッドのボイドは中心欠陥周りの同心の 7 層を形成し、単位格子は 3 角形であった。このファイバを通常のように被覆し、このファイバはコンピュータシミュレーションの推定通りの光学的性質を実質的に有した。

【0045】実施例 2

非周期性微細構造ファイバは、次の点以外は実施例 1 と実質的に同様に製造した。実施例 1 と異なる点としては、このコア特徴構造は直径 0.718 mm のシリカ・ロッドで、このロッドは内径が 0.615 mm、外径が 0.718 の 6 本のシリカ管により、実質的に図 5 に示すように、囲まれさらに内径が 0.508 mm、外径が 0.718 のシリカ管の少くとも 4 層により囲まれた。このプリフォームは、線引き後所望のファイバ直径を与えるよう選択したシリカ管でオーバクラディングした。具体的には、プリフォームの直径は 97 mm であった。このプリフォームを、図 5 に示すような微細構造を有し、ファイバの直径が 125 μm、コア領域の直径が 1.017 μm (内接円の直径で示し)、中心間の間隔が 0.925 μm、ボイドの直径が 0.833 μm と 0.688 μm と 0.88 μm を有するファイバに線引きした。このファイバは図 6 に実質的に示す分散スペクトルを有する。

【0046】以上の説明は、本発明の二三の実施の形態例に関するもので、この技術分野の当業者であれば、さ

らに本発明の種々の変形例が考え得るが、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。尚、特許請求の範囲に記載した参照番号は発明の容易なる理解のために、その技術的範囲を制限するよう解釈されるべきではない。

【0047】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明の非周期性微細構造ファイバにより有効な光ファイバ通信システムの各種製品が提供できるが、例えば、120kmの伝送ファイバの分散を補償する場合、例えば、13.6kmの

【図面の簡単な説明】

【図1】微細構造ファイバを示す断面略図である。

【図2】微細構造ファイバを示す断面略図である。

【図3】微細構造ファイバを有する光ファイバ通信システムを示す略図である。

【図4】微細構造のさらなる実施の形態を示す断面略図である。

【図5】非周期性微細構造ファイバ例の一部を示す断面略図である。

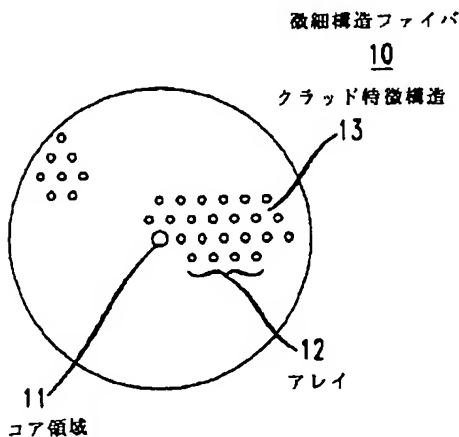
【図6】図5のある長さの本非周期性微細構造ファイバ

の分散スペクトルを示す図である。

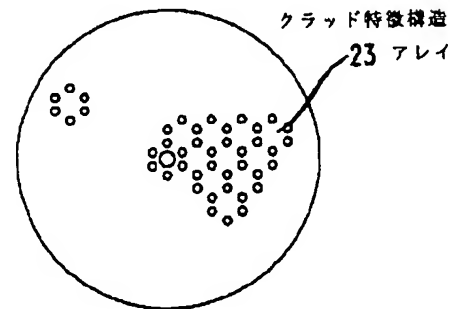
【符号の説明】

- 10 微細構造ファイバ
- 11 コア領域
- 12 クラッド特徴構造アレイ
- 13 クラッド特徴構造アレイ単位格子
- 23 クラッド特徴構造アレイ単位格子
- 30 光ファイバ通信システム
- 31 送信器
- 32 信号光
- 33 光伝送ファイバ
- 34 光結合器
- 35 微細構造ファイバ
- 36 光伝送ファイバ
- 37 受信器
- 40 微細構造ファイバ
- 41 コア特徴構造
- 42₁ 多層クラッド
- 42₂ 多層クラッド
- 42_n 多層クラッド
- 51 コア領域
- 52 クラッド特徴構造 (ボイド)
- 53 クラッド特徴構造 (ボイド)

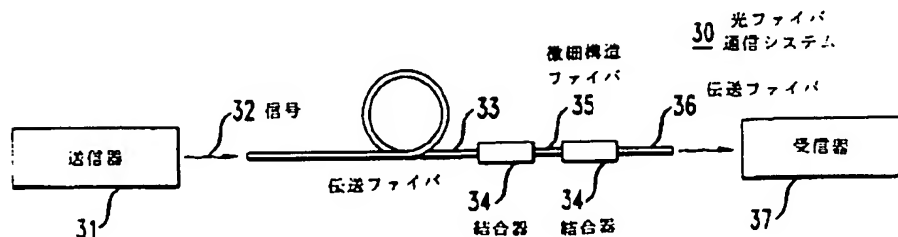
【図1】



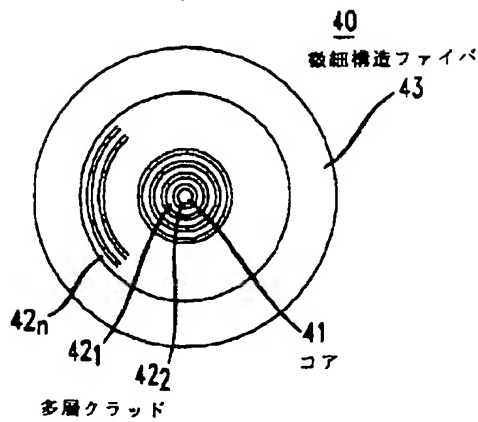
【図2】



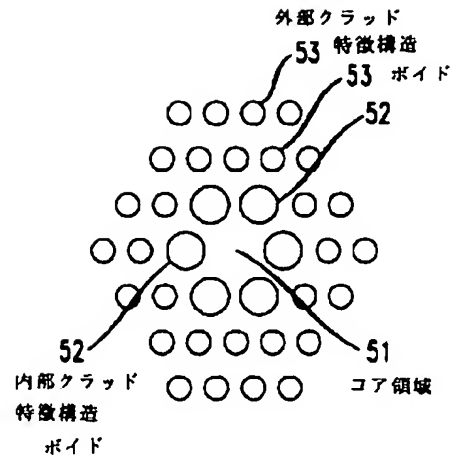
【図3】



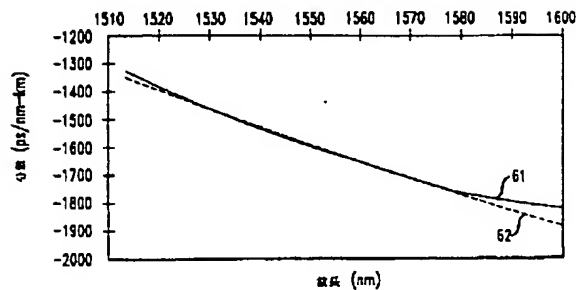
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 アシシュ マドヒューカー ヴェングサー
カー

アメリカ合衆国, 07922 ニュージャージ
ー, パークレイ ハイ츠, ダリア レイン

(72)発明者 ジェファーソン リン ワジェナー

アメリカ合衆国, 22902 ヴァージニア,
シャルロットヴィル, グレイド レイン
341

(72)発明者 ロバート スコット ウィンデラー

アメリカ合衆国, 08807 ニュージャージ
ー, ブリッジウォーター, サニー スロー
プ ロード 3809

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.